

我国部分地区食品氚的分布规律初探

朱国英 王伟华 陈炳如

(上海市放射医学研究所 上海 200032)

摘要 调查了我国北京、兰州、上海和成都四个城市的食品氚浓度, 其中食品的游离水氚(TFWT)和有机结合氚(OBT)浓度的平均值分别为 $4.56\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $29.51\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$, 食品OBT与TFWT含量的比值(SAR)为6.47。食品OBT浓度由北往南逐渐下降($P < 0.05$), 与纬度呈高度线性关系。植物类食品的OBT浓度较动物类食品高, 且地面生长食品的OBT浓度最高, 灌溉类食品最低。

关键词 氚, 食品, 游离水氚, 有机结合氚, 纬度

氚是核能开发中向环境排放的主要放射性核素之一。食品氚由其组织的游离水氚(TFWT)和有机结合氚(OBT)两部分组成, 是人体吸收氚的主要途径。研究表明, 摄入氚所致的剂量要比吸入和皮肤吸收所致的剂量高出4—23倍^[1]。国内近年来有关食品氚的研究虽有开展, 但多数还只是一种环境水平的调查, 缺乏食品氚分布规律的详细资料, 故在进行氚致人体剂量的估算时误差较大。因此, 研究食品氚的分布规律, 对准确估算我国居民摄入氚所致剂量及核电事业的开发和防护设计都有极大的参考价值和社会经济效益。

1 实验方法和步骤

1.1 样品采集

于1993年—1994年的不同季节, 在北京、兰州、上海和成都四个城市采样, 样品包括蔬菜水果类、谷类、豆类、油料类、畜禽肉及鱼类、奶蛋类等, 分别取采样点多处采集的同种食品混合样。

1.2 样品制备

食品游离水氚: 用自来水清洗食品, 晾干, 取可食部分切碎装入蒸馏瓶中, 隔水真空蒸馏, 收集馏出液, 再蒸馏纯化。

食品有机结合氚: 取可食部分在 110°C 烘箱内烘烤至恒重, 将所得干品用氧化燃烧法制备有机结合氚^[2]。

1.3 样品测量

用液体闪烁法测量。取水样10ml至低钾玻璃闪烁杯中, 加入PICO-FLOUR LLT闪烁液10ml混匀, 暗适应60min后用美国PACKARD公司生产的TRI-CARB 2550TR低本底液闪仪进行测量。测量时间为1000min。用天津曾三水作无氚本底水, 氚标准溶液来自英国放射性中心。最佳能量道为0.5—3.5keV, 最佳能量道的仪器计数效率为23.45%。

1.4 计算公式

$$A = [(cpm_A - cpm_B) \cdot 1000] / (60 V_s \cdot E \cdot f)$$

收稿日期: 1995-07-14, 修回日期: 1995-10-20

式中, A 为样品氚浓度($\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$); V_s 为测量所用样品体积(ml); f 为采样至测量时间的衰变校正系数; cpmA 、 cpmB 和 E 分别为最佳能量道内的每分钟样品计数、每分钟本底计数和样品计数效率。

1.5 最低可探测限(LLD)

以本底计数率标准偏差的2倍值计算探测下限, 即 $2\sigma = \pm 2(B/T)^{1/2}$, 取 $B=3.20 \text{ Count/min}$, $T=1000\text{min}$, 则 $\text{LLD}=0.80\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2 结果和讨论

2.1 食品氚浓度

我们对北京、兰州、上海和成都四个城市各类食品氚浓度的测定结果如表1所示。由表1发现, 四个城市食品的TFWT浓度以畜禽肉及鱼类最高($8.12\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$), 蔬菜水果类和奶蛋类较低(分别为 $3.33\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $2.91\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$), 均值为 $4.56\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 。根据美国Bogen等^[3,4]的资料, 1976年和1979年美国食品的TFWT浓度均值分别为 $24.87\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 及 $7.28\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$; 1992年更低, 为 $2.3\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1[5]}$ 。环境样品中的氚主要来自宇宙射线、核武器试验及核设施产生的氚, 自从60年代起空中核武器试验逐年减少, 全球环境氚浓度正在逐年下降, 美国的食品氚资料以及我们实验的测定结果完全符合这一下降规律。但由于国内这方面的工作近几年刚刚开展, 且多着重于食品总氚含量的测定, 有关食品氚的分布规律尚待进一步探讨。

表1 四城市各类食品氚浓度的测定结果
Table 1 Tritium concentrations in various food from four cities

食品种类 Food category	TFWT			OBT			SAR (OBT/TFWT)
	n	$X \pm SD$	范围Region	n	$X \pm SD$	范围Region	
蔬菜水果类 Vegetables/fruits	20	3.33 ± 2.51	0.64—7.84	25	42.67 ± 16.84	17.65—81.11	12.81
谷类 Polished rice	—	—	—	14	18.29 ± 12.96	5.96—57.00	—
豆类和油料类 Beans/oils	3	6.69 ± 1.45	5.18—8.08	10	30.26 ± 11.10	13.19—38.78	4.52
畜禽肉及鱼类 Fish/poultry	6	8.12 ± 5.04	2.27—14.40	17	22.62 ± 10.37	14.11—37.72	2.79
奶蛋类 Eggs/milk	2	2.91 ± 0.10	2.84—2.98	7	17.70 ± 5.92	7.37—24.74	6.08
均值 Average	31	4.56 ± 3.53	0.64—14.40	73	29.51 ± 16.33	5.96—81.11	6.47

食品的OBT浓度以蔬菜类最高($42.67\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$), 谷类和奶蛋类较低, 分别为 $18.29\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $17.70\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$, 均值为 $29.51\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$, 较食品的TFWT浓度高出6倍。由于至今尚未发现氚在生态系统中有浓集趋势, 较高的OBT浓度可能是由于其较长的生物半衰期以及早些时候的环境高氚水平引起的^[6]。

食品的OBT与TFWT含量的比值(SAR)是估算氚致人体剂量的一个重要参数^[7]。但世界各国报道的SAR值差异很大, 日本报道的SAR值为1.0—2.0^[6], 而美国、意大利及其他欧洲国家报道的SAR值为1.0—20.0^[3,8]。由此可见, $\text{SAR} > 1$, 但波动范围极大, 这可能是由于食品采集的年限和地区不同引起的。我们的调查得到的SAR值在2.79—12.81, 与美国和欧洲国家的测定结果相近。

2.2 食品氚的地区分布特征

北京、兰州、上海和成都四个城市的食品OBT浓度测定结果见表2。由表2可见, 由北往南随着纬度降低, 氚浓度逐渐下降, 且差别有显著意义($P < 0.05$)。

表2 四城市食品OBT浓度比较($X \pm SD$)
Table 2 Comparison of OBT concentrations in food from four cities

城市 City	纬度 Latitude/(°)	<i>n</i>	<i>C/Bq · L⁻¹</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
北京 Beijing	39.8	15	36.52 ± 16.19	3.74	<0.05
兰州 Lanzhou	36.0	24	30.84 ± 16.77		
上海 Shanghai	31.2	20	28.44 ± 20.29		
成都 Chengdu	30.7	14	20.95 ± 7.53		

将各地食品的OBT浓度与当地的纬度作回归和相关分析可得: $OBT = 1.41 \times \text{纬度} - 19.7$ 。由相关系数($r = 0.346, P < 0.01$)证明, 食品的OBT浓度与北纬纬度之间呈高度线性关系。根据中国水环境氡浓度调查分析, 发现由北往南随着纬度降低, 水氡浓度逐渐下降^[9]。我们的食品氡浓度的调查结果与这一趋势相吻合。说明食品氡浓度与环境水氡浓度的分布一致。

2.3 不同类型食品的氡浓度

将四个城市的食品按植物类食品和动物类食品分类, 其OBT浓度见表3所示。由表3发现植物类食品的OBT浓度明显高于动物类食品($P < 0.01$), 且不同植物类食品的OBT浓度的波动范围较大, 而动物类食品的OBT浓度波动较小。植物类食品的OBT浓度高于动物类食品, 其原因可能是由于植物可直接吸收大气中的氢气和甲烷气体, 这些气体中的氡活度远高于降水中的氡活度, 并且氡应是直接结合到有机分子中; 或者, 由氡氧化生成的水在被植物游离水稀释前即被有机分子快速吸收^[8]。

表3 植物类食品和动物类食品OBT浓度的比较($X \pm SD$)
Table 3 Comparison of OBT concentrations in plant and animal food

食品来源 Food source	<i>n</i>	<i>C/Bq · L⁻¹</i>	范围 Region	<i>t</i>	<i>P</i>
植物类食品 Plant food	49	33.20 ± 18.00	5.96—81.11	2.88	<0.01
动物类食品 Animal food	24	22.02 ± 8.50	7.37—38.71		

将植物类食品按照其生长特征分类, 即Ⅰ类——地面生长类, 如青菜等; Ⅱ类——攀藤或挂枝生长类, 如豇豆、苹果等; Ⅲ类——灌溉类, 如稻米等粮食作物; Ⅳ类——地下生长类, 如花生、红薯等, 这些不同生长特征的食品的OBT浓度见表4所示。由表4可知不同生长特征的食品的OBT浓度有极大的差异($P < 0.01$), 其中以Ⅰ类植物的OBT浓度最高, 其次分别为Ⅱ类和Ⅳ类, Ⅲ类食品的OBT浓度最低。

表4 不同生长特征食品的OBT浓度比较($X \pm SD$)
Table 4 Comparison of OBT concentrations in various plant groups

生长类别 Plant group	<i>n</i>	<i>C/Bq · L⁻¹</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Ⅰ	9	53.73 ± 19.06	13.23	<0.01
Ⅱ	23	35.17 ± 11.84		
Ⅲ	13	17.56 ± 13.19		
Ⅳ	4	26.07 ± 7.82		

不同生长特征的植物类食品的OBT浓度差异极大, 这可能是由于其在生长阶段与各种环境介质接触的密切程度不同引起的。地面生长类食品和大气氡(降水氡)关系较密切, 地下生长类食品则与土壤和地下水氡关系较大, 而环境水氡浓度的大小顺序为雨水 > 河水 > 湖水 > 海水 > 地下水^[9]。我们的不同生长特征的植物类食品的氡浓度分布规律与环境水氡浓度

的分布规律较为一致,说明植物类食品氚受生长环境水氚浓度的影响较大。

此外,日本学者的研究表明^[10],稻米等灌溉类食品的OBT浓度较TFWT浓度低,即SAR值小于1。其原因可能是由于水稻在其生长过程的大部分阶段为灌溉水所覆盖,灌溉水氚、植物水氚和土壤水氚之间处于平衡状态,而由于OBT合成过程中的同位素分馏效应,使其OBT浓度较TFWT浓度低。本次测定得出稻米(第Ⅲ类)的OBT浓度最低,也基本反映了这一趋势。但由于缺乏相应的TFWT浓度资料,不能详细分析其组成关系,这部分的工作有待于以后进一步的探讨。

参 考 文 献

- 1 Gulden W, Raskob W. Fusion Technol, 1992; 21:536
- 2 陈炳如, 王伟华. 放射卫生, 1990; 3(1):22
- 3 Bogen D C, Welford G A. Health Phys, 1976; 30:203
- 4 Bogen D C, Welford G A. Vienna: IAEA: Report No.STI/PUB/498, 1979:567
- 5 Yoshikazu I, Kiriko T M, Tetsuo I. Fusion Technol, 1992; 21:494
- 6 Hisamatsu S. J Radioanal Nucl Chem, Articles, 1992; 156(1):89
- 7 ICRP Publication 56, Part 1:1990
- 8 Belot Y. Radiat Protect Dosim, 1986; 16:101
- 9 程荣林, 任天山. 中华放射医学和防护杂志, 1992; 12(2):129
- 10 Yoshikazu I, Tetsuo I. J Radiat Res, 1990; 31:311

A study on tritium distribution in various food from some districts of China

Zhu Guoying Wang Weihua Chen Bingru

(Shanghai Institute of Radiation Medicine, Shanghai 200032)

Abstract

Measurements have been made of tissue free water tritium(TFWT) and organically bound tritium(OBT) in food samples from Beijing, Lanzhou, Shanghai and Chengdu districts. The average TFWT and OBT concentration is 4.56Bq/L and 29.51Bq/L, respectively. And the SAR, the ratio of OBT to TFWT, is 6.47. The OBT concentration in food is found to be decreasing with latitude of the district. And the relation of the OBT concentrations with latitudes can be described by a linear equation. It is also found that the OBT concentrations in plant are significantly higher than that in animal food.

Key words Tritium, Food, Tissue free water tritium, Organically bound tritium, Latitude